



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ ⑫ Offenlegungsschrift  
⑯ ⑯ DE 102 30 772 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
G 01 B 11/00

DE 102 30 772 A 1

⑯ Aktenzeichen: 102 30 772.5  
⑯ Anmeldetag: 9. 7. 2002  
⑯ Offenlegungstag: 31. 7. 2003

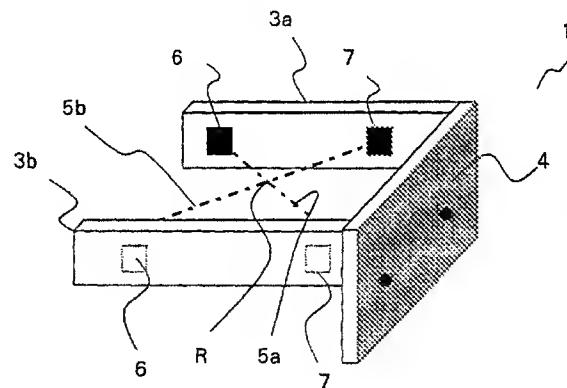
⑯ Innere Priorität:  
202 00 587. 9 15. 01. 2002  
⑯ Anmelder:  
Pagel, Thomas, 30900 Wedemark, DE; Kemp,  
Johannes, 38110 Braunschweig, DE  
⑯ Vertreter:  
GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

⑯ Erfinder:  
Pagel, Thomas, 30900 Wedemark, DE; Kemp,  
Johannes, 38110 Braunschweig, DE  
⑯ Entgegenhaltungen:  
DE 37 24 656 C2  
US 59 29 584 A  
US 51 77 563 A  
US 63 52 354 B1  
EP 04 17 320 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Einmessvorrichtung und Verfahren zum Einmessen eines Arbeitspunktes von Werkzeugen für Industrieroboter  
⑯ Eine Einmessvorrichtung (1) zum Einmessen eines Arbeitspunktes (TCP) von Werkzeugen (13) für Industrieroboter (8) hat mehrere sich in einem Referenz-Kreuzungspunkt (R) kreuzende Lichtschranken (5a, 5b).



DE 102 30 772 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Einmessvorrichtung zum Einmessen eines Arbeitspunktes von Werkzeugen für Industrieroboter sowie ein Verfahren zum Einmessen eines Arbeitspunktes von Werkzeugen für Industrieroboter mit einer solchen Messvorrichtung.

[0002] Industrieroboter haben zum Anfahren beliebiger Punkte innerhalb eines Arbeitsraums mehrere miteinander verbundene Arme, einen Handflansch am Ende des letzten Arms der miteinander verketteten Arme, und ein Werkzeug, das an den Handflansch angebracht ist. Das Werkzeug kann beispielsweise ein Greifer, ein Schweißkopf oder ähnliches sein.

[0003] Die Lage und Orientierung des Handflansches oder des Arbeitspunktes eines an den Handflansch angebrachten Werkzugs kann in einem ortsfesten roboterunabhängigen Weltkoordinatensystem oder einem ortsfesten auf einen Verankerungspunkt des Industrieroboters bezogenen Basiskoordinatensystem erfolgen. Die Beschreibung der Lage der Freiheitsgrade, d. h. der Achsen und der Handorientierung erfolgt hingegen in Roboterkoordinaten, wobei ausgehend von der Grundachse des Roboters, d. h. des Basiskoordinatensystems, für jeden Arm ein Achsen-Roboterkoordinatensystem definiert ist, das die relative Lage jeder Achse bezogen auf ihre vorgehende Achse beschreibt. Der Zusammenhang der Achsen-Roboterkoordinatensysteme eines Industrieroboters wird durch definierte Koordinatentransformationen beschrieben. Durch Vorgabe der Lage und der Orientierung des Handflansch oder des Arbeitspunktes eines Werkzugs im Weltkoordinatensystem können somit durch Koordinatentransformation die Achsen-Roboterkoordinaten berechnet werden, um die einzelnen Achsen des Industrieroboters ansteuern zu können.

[0004] Die Lage eines Arbeitspunktes eines Werkzeugs, das an den Handflansch des Industrieroboters angebracht wird, wird durch sogenannte TCP-Lagekoordinaten beschrieben. Die Programmierung des Industrieroboters erfolgt auf der Basis des Handflansches und der festgelegten TCP-Lagekoordinaten. Die TCP-Lagekoordinaten werden bei jedem Werkzeug mitgeliefert und sind als Tool-Center-Point (TCP) bekannt. Die TCP-Lagekoordinaten sind ebenso wie die Achsen-Roboterkoordinaten jeweils ein Vektor mit sechs Dimensionen. Die ersten drei Koordinaten definieren die Lage des Arbeitspunktes relativ zu dem Werkzeugbasispunkt des Industrieroboters, d. h. des Befestigungspunktes des Werkzeugs an dem Handflansch. Die anderen drei Koordinaten definieren die Orientierung der Achsen des Arbeitspunktes relativ zu dem Werkzeugbasispunkt.

[0005] Der Arbeitspunkt des Werkzeugs kann beispielsweise die Spitze eines Schweißkopfes sein. Nur wenn die TCP-Lagekoordinaten exakt bekannt sind, kann der Arbeitspunkt des Werkzeugs präzise verfahren werden.

[0006] Im Betrieb kann sich der Arbeitspunkt des Werkzeugs jedoch durch Werkzugverschleiß, Verbiegung etc. ändern, was zu einer fehlerhaften Positionierung des Arbeitspunktes des Werkzeugs führt.

[0007] Es besteht daher die Notwendigkeit den Arbeitspunkt von Werkzeugen hochgenau einzumessen.

[0008] In der EP 0 417 320 A1 ist ein Verfahren zum Einmessen des Arbeitspunktes (TCP) des Werkzeuges eines Industrieroboters beschrieben, bei dem ein Einstellpunkt an dem Handflansch des Roboterarms festgelegt ist, wobei die Position des Einstellpunktes relativ zu dem Handflansch bekannt ist. Weiterhin ist eine Referenzspitze im Arbeitsraum des Industrieroboters aufgestellt. Zum Einmessen des Arbeitspunktes wird die Spitze des Werkzeugs auf die Referenzspitze aufgesetzt und die Position und Orientierung der Werkzeugspitze in einem Basiskoordinatensystem bestimmt. Dann wird der Einstellpunkt des Handflansches auf die Referenzspitze aufgesetzt und die Position und Orientierung des Einstellpunktes in dem Koordinatensystem des Handflansches bestimmt. Zudem wird die Position und Orientierung der Referenzspitze in dem Bezugskoordinatensystem bestimmt und aus den drei Matrizen eine Transformationsmatrix zur Bezeichnung der TCP-Lagekoordinaten des Arbeitspunktes des Werkzeuges berechnet.

[0009] Das Einmessen erfordert einen mehrstufigen Verfahrensvorgang sowie Koordinatentransformationen.

[0010] Aus dem US-Patent 6,352,354 B1 ist ein Lichtpunktlement zur Erzeugung eines Lichtpunktsignals an einem Arbeitspunkt eines Industrieroboter-Werkzeugs beschrieben. Hierdurch kann die genaue Position des Werkzeugs während einer Lernphase beschrieben werden.

[0011] In dem US-Patent 5,929,584 ist ein Verfahren zum Einmessen eines Arbeitspunktes von Werkzeugen mit einem Kalibrierblock beschrieben, der vertikale und horizontale Flächen hat. Durch Bewegung des Werkzeugs von einer Startposition bis zu einem Berührungs punkt des Werkzeugs an einer der Flächen und Zurückfahren des Werkzeugs zum Startpunkt und Wiederholen des Vorgangs für die andere Fläche werden die TCP-Lagekoordinaten des Arbeitspunktes berechnet. Hierzu ist nachteilig eine aufwändige Koordinatentransformation von dem Bezugskoordinatensystem über die einzelnen Roboterkoordinaten bis zu dem Handflansch erforderlich, um aus den Bezugskoordinaten die TCP-Lagekoordinaten im TCP-Koordinatensystem zu ermitteln.

[0012] Aufgabe der Erfindung war es, eine verbesserte Einmessvorrichtung zum Einmessen eines Arbeitspunktes von Werkzeugen für Industrieroboter sowie ein Verfahren hierzu zu schaffen, um im Betrieb präzise und schnell den Arbeitspunkt von Werkzeugen einzumessen zu können.

[0013] Die Aufgabe wird mit der gattungsgemäßen Einmessvorrichtung erfundengemäß dadurch gelöst, dass die Einmessvorrichtung mehrere sich in einem Referenz-Kreuzungspunkt kreuzende Lichtschranken hat.

[0014] Im Unterschied zu den herkömmlichen Kalibrierblöcken mit horizontalen und vertikalen Flächen kann eine solche Einmessvorrichtung mit Gabellichtschranken relativ klein und leicht aufgebaut und fest im Arbeitsraum des Industrieroboters montiert werden. Im Betrieb kann der Arbeitspunkt des Werkzeugs, in der Regel die Werkzeugspitze, in den Referenz-Kreuzungspunkt der Lichtschranken gefahren werden, um die TCP-Lagekoordinaten (Tool-Center-Point-TCP) neu einzumessen.

[0015] Hierzu hat die Lichtschrankenmesseinrichtung vorzugsweise einen auf einer Seite offenen Rahmen mit zwei voneinander beabstandeten parallelen Schenkeln. Mindestens im Bereich des vorderen und hinteren Endes der Schenkel ist jeweils ein Sender und Empfänger für zwischen den Schenkeln zu dem Rahmen ausgerichtete Lichtschranken vorgesehen. Das Werkzeug kann somit in diese U-förmige Einmessvorrichtung hineingefahren und solange dort verfahren werden, bis der Arbeitspunkt, d. h. die Werkzeugspitze des Werkzeugs den Referenz-Kreuzungspunkt passiert und beide Lichtschranken unterbrochen sind und demzufolge ein Schaltsignal abgeben. Dann werden die TCP-Lagekoordinaten ermittelt.

[0016] Die Lichtschranken sind vorzugsweise als Infrarot-Lichtschranken ausgeführt. Das Einmessen des Arbeitspunktes erfolgt vorzugsweise mit den Schritten:

65 a) Festlegen der TCP-Lagekoordinaten des Arbeitspunktes des Werkzeuges bezogen auf einen Werkzeugbasispunkt des Industrieroboters und eines auf den Ar-

beitspunkt bezogenen TCP-Koordinatensystems,  
 b) Verfahren des Werkzeuges mit Bezug auf das TCP-Koordinatensystem solange, bis der Arbeitspunkt des Werkzeuges in dem Referenz-Kreuzungspunkt der Lichtschrankenmesseinrichtung liegt,  
 c) Korrigieren der TCP-Lagekoordinaten um die Differenz zwischen den festgelegten TCP-Lagekoordinaten und der beim Verfahren des Werkzeuges in Bezug auf das TCP-Koordinatensystem unmittelbar im TCP-Koordinatensystem vorliegenden Lage des Arbeitspunktes in dem Referenz-Kreuzungspunkt.

[0017] Erfindungsgemäß wird somit vorgeschlagen, das Werkzeug in Bezug auf das TCP-Koordinatensystem zu verfahren, d. h. die Steuerung erfolgt nicht wie herkömmlich auf der Basis des Weltkoordinatensystems oder Basiskoordinatensystems des Industrieroboters, sondern unmittelbar mit Bezug auf TCP-Koordinatensystem. Das TCP-Koordinatensystem hat in der Regel seinen Ursprung im Arbeitspunkt, beispielsweise der Messspitze des Werkzeugs, und eine Orientierung in Richtung des Werkzeugbasispunktes, beispielsweise des Befestigungspunktes des Werkzeugs an dem Handflansch.

[0018] Auf diese Weise wird erreicht, dass die Steuerungsposition des Industrieroboters unmittelbar auf das TCP-Koordinatensystem bezogen ist und ohne weitere Transformationen die Verschiebung des Arbeitspunktes relativ zu den vorher festgelegten TCP-Lagekoordinaten des Arbeitspunktes bestimmt werden kann. Es wird somit die Verschiebung des Referenz-Kreuzungspunktes bezogen auf den Ursprung des TCP-Koordinatensystems bestimmt, wobei der Ursprung des TCP-Koordinatensystems in der Regel den Arbeitspunkt eines neuwertigen Werkzeuges beschreibt. Die TCP-Lagekoordinaten können somit unmittelbar ohne weitere Transformation zur Korrektur der vorher festgelegten TCP-Lagekoordinaten verwendet werden.

[0019] Diese Vorgehensweise führt einerseits dazu, dass zum Einmessen lediglich ein einfacher Referenz-Kreuzungspunkt im Arbeitsraum des Industrieroboters definiert werden muss. Die Einmessvorrichtung kann somit relativ einfach im Vergleich zu einem Kalibrierblock aufgebaut werden. Zudem ermöglicht das Verfahren das schnelle und einmalige Anfahren des Referenz-Kreuzungspunktes durch die Werkzeugspitze, um eine Korrektur der TCP-Lagekoordinaten bei Verschleiß, Verbiegung oder ähnliches des Werkzeuges vorzunehmen. Dies wird auf einfache Weise nur dadurch erreicht, dass das Werkzeug zum Einmessen im TCP-Koordinatensystem geführt wird. Der Ursprung des TCP-Koordinatensystems, d. h. der Arbeitspunkt des Werkzeuges wird auf dem früher festgelegten Arbeitspunkt statio-när gehalten und es werden somit die Basiskoordinaten des Referenz-Kreuzungspunktes der Lichtschrankenmesseinrichtung in Bezug auf den früher festgelegten Arbeitspunkt vermessen.

[0020] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beige-fügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0021] **Fig. 1** perspektivische Ansicht einer erfindungsge-mäßen Einmessvorrichtung mit zwei sich kreuzenden Licht-schranken;

[0022] **Fig. 2** Draufsicht auf die Einmessvorrichtung nach **Fig. 1**;

[0023] **Fig. 3** Skizze eines Industrieroboters mit mehreren Armen und Basiskoordinatensystem sowie Achsenkoordinatensystemen;

[0024] **Fig. 4** Skizze der Verlagerung des Arbeitspunktes eines Werkzeugs nach Verschleiß in Bezug auf ein TCP-Koordinatensystem.

[0025] Die **Fig. 1** lässt eine erfindungsgemäße Einmess-

vorrichtung 1 in perspektivischer Ansicht erkennen. Die Einmessvorrichtung 1 hat einen auf einer Seite offenen Rah-men 2 mit zwei voneinander beabstandeten parallelen Schenkeln 3a, 3b. Die Einmessvorrichtung 1 ist somit U-förmig. Die Schenkel 3a, 3b sind integral mit einer Halteplatte 4 verbunden, mit der die Einmessvorrichtung 1 ortsfest in dem Arbeitsraum des Industrieroboters montiert werden kann.

[0026] In den Schenkeln 3a, 3b sind diagonal hierzu ausgerichtete Lichtschranken 5a, 5b vorgesehen, die sich in einem Referenz-Kreuzungspunkt R im Zwischenraum zwischen den Schenkeln 3a, 3b treffen. Hierzu ist jeweils ein Sender 6 und ein Empfänger 7 pro Lichtschranke 5a, 5b an einem vorderen Ende eines ersten Schenkels 3a und am hinteren Ende des anderen Schenkels 3b für die erste Lichtschranke 5a bzw. an dem hinteren Ende des ersten Schenkels 3a und dem vorderen Ende des zweiten Schenkels 3b für die zweite Lichtschranke 5b angebracht. Auf diese Weise wird eine Gabellichtschranke geschaffen, die vorzugsweise als Infrarot-Lichtschranke ausgebildet ist.

[0027] Die **Fig. 2** lässt die Einmessvorrichtung 1 in der Draufsicht erkennen. Es wird deutlich, dass die Lichtschranken 5a, 5b diagonal zwischen den Schenkeln 3a und 3b verlaufen und sich im Zwischenraum der Schenkel 3a, 3b in einem Referenz-Kreuzungspunkt R treffen.

[0028] Ein Arbeitspunkt TCP eines Werkzeugs für einen Industrieroboter, beispielsweise die Werkzeugspitze, wird zum Einmessen des Arbeitspunktes TCP so verfahren, dass der Arbeitspunkt TCP in dem Referenz-Kreuzungspunkt R 30 der Einmessvorrichtung 1 liegt. In diesem Falle sind beide Lichtschranken 5a, 5b durch die Werkzeugspitze unterbrochen, so dass ein Schaltsignal erzeugt wird.

[0029] Das Einmessverfahren wird im Folgenden näher erläutert.

[0030] Die **Fig. 3** lässt eine Skizze eines Industrieroboters 8 erkennen. Ein Industrieroboter 8 hat ein Basiskoordinaten-system  $\mathcal{O}_0$  oder Weltkoordinatensystem, das ortsfest in Bezug auf das Fundament des Industrieroboters 8 ausgerichtet ist. An dem Sockel 9 befindet sich eine Kette von über Ge-40 lenke 10 miteinander verbundene Arme 11. Für jeden dieser Arme 11 ist ein Achsen-Koordinatensystem  $\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_2, \mathcal{O}_3$  definiert, mit dem Position und Orientierung des jeweiligen Endes des entsprechenden Arms 11 in Bezug auf das zugeordnete Gelenk 10, mit der Arm 11 mit dem vorhergehenden 45 Arm 11 verbunden ist, beschreibt.

[0031] An dem Ende der Kette von Armen 11 befindet sich eine Handfläche 12, an die das Werkzeug 13 angebracht ist.

[0032] Für das Werkzeug 13 ist ein TCP-Koordinatensystem  $\mathcal{O}_{TCP}$  festgelegt, das einen Ursprung in dem Arbeitspunkt TCP des Werkzeugs hat. Für das Werkzeug 13 werden auf der Basis dieses TCP-Koordinatensystems  $\mathcal{O}_{TCP}$  TCP-Lagekoordinaten bereitgestellt, die die Position und Orientierung des Arbeitspunktes TCP in Bezug auf den Werkzeugbasispunkt W am Handflansch 12, d. h. in Bezug auf den Befestigungspunkt des Werkzeugs 13 an dem Industrieroboter 8 definiert.

[0033] Um die TCP-Lagekoordinaten im Betrieb bezogen auf den Werkzeugbasispunkt W des Industrieroboters 8 60 schnell und mit geringen Rechenaufwand einmessen zu können, wird erfindungsgemäß die Werkzeugspitze des Werkzeugs 13 in den Referenz-Kreuzungspunkt R der ortsfest montierten Einmessvorrichtung 1 auf der Basis des TCP-Koordinatensystems  $\mathcal{O}_{TCP}$  verfahren. Es erfolgt somit eine auf den Arbeitspunkt TCP bezogene Interpolation des Verfahrweges beim Führen des Werkzeugs 13 durch den Industrieroboter 8. Der Ursprung des TCP-Koordinatensystems  $\mathcal{O}_{TCP}$  wird hierbei stationär in Bezug auf die festgeleg-

ten TCP-Lagekoordinaten des Arbeitspunktes TCP gehalten. Aus dem Verfahrweg kann direkt die Verschiebung des Arbeitspunktes TCP bei Verschleiß oder Verbiegen des Werkzeugs 13 in den TCP-Koordinaten bestimmt werden. Es wird also quasi eine Verschiebung des Referenz-Kreuzungspunktes R in Bezug auf einen ursprünglichen Referenz-Kreuzungspunkt  $R_{TCP}$  bestimmt. Damit entfällt die Notwendigkeit, aufwändige Koordinatentransformationen durchzuführen und es braucht lediglich wie in einem Schritt der Referenz-Kreuzungspunkt R angefahren werden. 5

[0034] Die Fig. 4 lässt das Werkzeug 13 mit dem TCP-Koordinatensystem  $\mathcal{O}_{TCP}$  erkennen, dass seinen Ursprung im Arbeitspunkt TCP des Werkzeugs 13 hat. Für den Fall der skizzierten Verkrümmung des Werkzeugs verlagert sich der Arbeitspunkt  $TCP_1$  in Bezug auf den vorher festgelegten 10 ursprünglichen Arbeitspunkt  $TCP_0$ . Die TCP-Lagekoordinaten sind um diese Verschiebung  $\Delta TCP_0 = TCP_1 - TCP_0$  zu korrigieren. Da erfahrungsgemäß die Steuerung des Industrie-Roboters 8 in Bezug auf das TCP-Koordinatensystem  $\mathcal{O}_{TCP}$  erfolgt, wird die Differenz zwischen den 15 ursprünglich festgelegten TCP-Lagekoordinaten  $TCP_0$  und die Lage des neuen Arbeitspunktes  $TCP_1$  eines verschlissenen Werkzeugs 13 unmittelbar ermittelt. 20

## Patentansprüche

25

1. Einmessvorrichtung (1) zum Einmessen eines Arbeitspunktes (TCP) von Werkzeugen für Industrieroboter (8), dadurch gekennzeichnet, dass die Einmessvorrichtung (1) mehrere sich in einem Referenz-Kreuzungspunkt (R) kreuzenden Lichtschranken hat. 30
2. Einmessvorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einmessvorrichtung (1) einen auf einer Seite offenen Rahmen mit zwei voneinander beabstandeten parallelen Schenkeln (3a, 3b) hat, wobei 35 mindestens im Bereich des vorderen und hinteren Endes der Schenkel (3a, 3b) jeweils ein Sender und Empfänger für zwischen den Schenkeln (3a, 3b) diagonal zu dem Rahmen ausgerichtete Lichtschranken (5a, 5b) vorgesehen sind. 40
3. Einmessvorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtschranken (5a, 5b) Infrarot-Lichtschranken sind.
4. Verfahren zum Einmessen eines Arbeitspunktes (TCP) von Werkzeugen (13) für Industrieroboter (8) 45 mit der Einmessvorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch
  - a) Festlegen der TCP-Lagekoordinaten des Arbeitspunktes (TCP) des Werkzeugs (13) bezogen auf einen Werkzeugbasispunkt (W) des Industrieroboters (8) und eines auf den Arbeitspunkt (TCP) bezogenen TCP-Koordinatensystems, 50
  - b) Verfahren des Werkzeugs (13) mit Bezug auf das TCP-Koordinatensystem solange, bis der Arbeitspunkt (TCP) des Werkzeugs (13) in dem Referenz-Kreuzungspunkt (R) der Einmessvorrichtung (1) liegt, 55
  - c) Korrigieren der TCP-Lagekoordinaten um die Differenz zwischen den festgelegten TCP-Lagekoordinaten und der beim Verfahren des Werkzeugs (13) in Bezug auf das TCP-Koordinatensystem unmittelbar im TCP-Koordinatensystem vorliegenden Lage des Arbeitspunktes (TCP) in dem Referenz-Kreuzungspunkt (R). 60

65

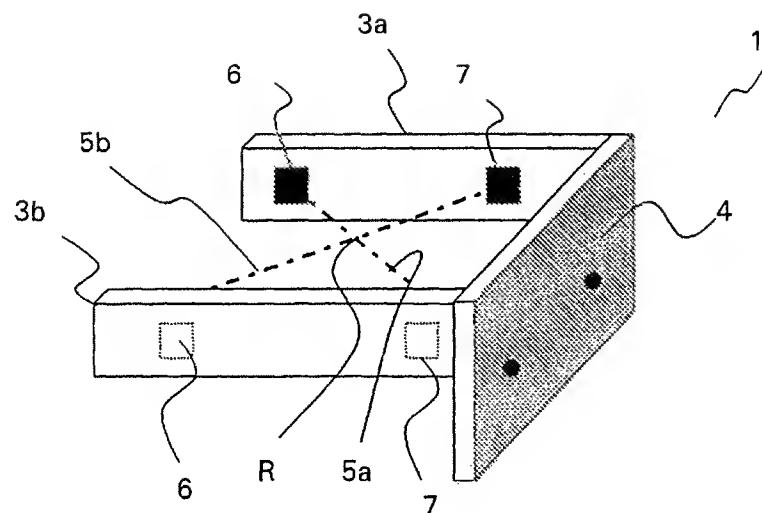


Fig. 1

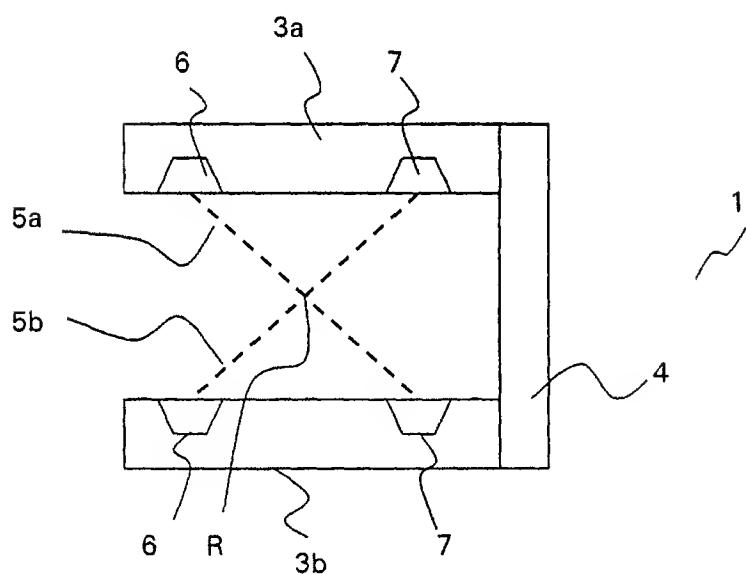


Fig. 2

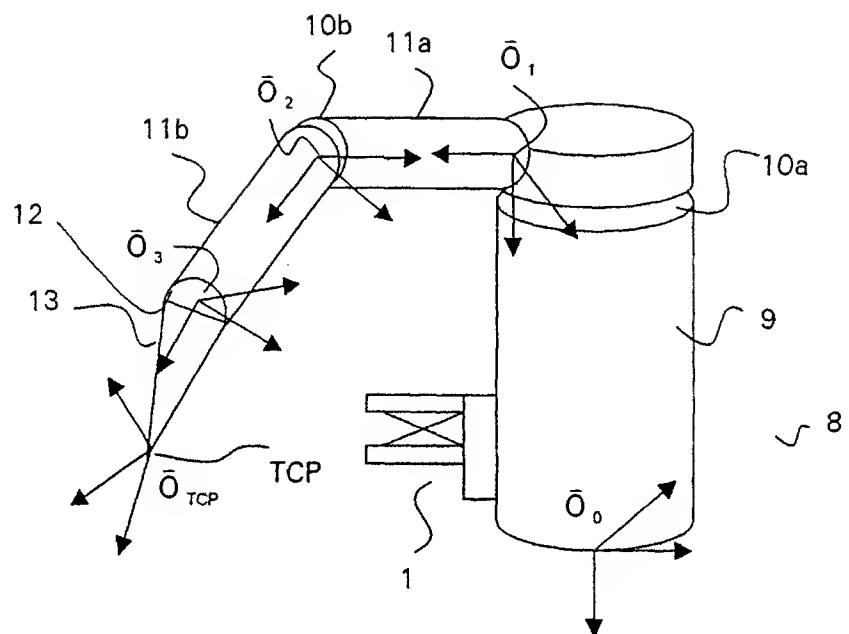


Fig. 3

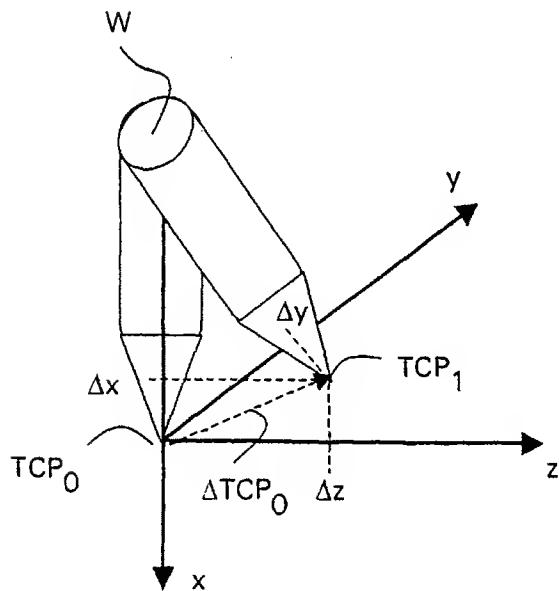


Fig. 4